

## BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DE04101802



RECD 05 OCT 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 37 667.4

**Anmeldetag:** 12. August 2003

**Anmelder/Inhaber:** JENOPTIK Mikrotechnik GmbH, 07745 Jena/DE

**Bezeichnung:** Plasma-Strahlungsquelle und Anordnung  
zur Erzeugung eines Gasvorhangs für  
Plasma-Strahlungsquellen

**IPC:** H 05 G, H 05 H

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 23. September 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident  
im Auftrag

A 9161  
03/00  
EDV-L

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RTT.F 17.1(a) OR (b)



**Belegexemplar**  
Darf nicht geändert werden

Plasma-Strahlungsquelle und Anordnung zur Erzeugung eines Gasvorhangs für Plasma-Strahlungsquellen

Die Erfindung bezieht sich auf eine Plasma-Strahlungsquelle, die von einem Quellbereich in einer Vakuumkammer ausgehende Strahlung in einen definierten Raumwinkel durch einen zur Debris-Unterdrückung vorgesehenen Gasvorhang hindurch entlang einer Achse der mittleren Ausbreitungsrichtung der Strahlung abstrahlt.

10

Ferner bezieht sich die Erfindung auf eine Anordnung zur Erzeugung eines Gasvorhangs als Filter für Teilchen in einer Strahlung, deren mittlere Ausbreitungsrichtung in einer Vakuumkammer entlang einer durch den Gasvorhang gerichteten Achse verläuft.

Plasma-Strahlungsquellen werden zur Erzeugung kurzwelliger elektromagnetischer Strahlung ( $\lambda < 110 \text{ nm}$ ) eingesetzt. Als Beispiel sei die Lithographie im extremen Ultraviolet (EUV,  $5 \text{ nm} < \lambda < 50 \text{ nm}$ ) genannt. Die Leistungsfähigkeit von Plasma-Strahlungsquellen hängt davon ab, wie viel Strahlung im gewünschten Wellenlängenintervall in den nutzbaren Raumwinkel abgestrahlt wird und wie groß der nutzbare Raumwinkel ist. Die Effizienz der Umwandlung von der dem Plasma zugeführten Energie in nutzbare Strahlung des gewünschten Wellenlängenintervalls bezeichnet man als Konversionseffizienz (CE). Diese hängt sowohl von den Plasmabedingungen (Druck, Temperatur, Dichte, Einschlusszeit, stoffliche Zusammensetzung) ab als auch von dem nutzbaren Raumwinkel. Das Plasma kann entweder durch eine elektrische Gasentladung oder durch Teilchenbeschuß erzeugt beziehungsweise durch intensive Laserstrahlung angeregt sein.

Zur Nutzung der erzeugten Strahlung werden häufig optische Komponenten zur Strahlformung benötigt. Aus Ermangelung hinreichend transparenter Materialien in oben genanntem Wellenlängenbereich handelt es sich hierbei um Spiegel oder Beugungsoptiken mehr oder weniger hoher Komplexität. Aus demselben Grund ist die Evakuierung des Strahlführungssystems auf einen zur Vermeidung von Gasabsorption hinreichend niedrigen Druck notwendig. Dadurch werden die Optiken jedoch direkt dem schädigenden Einfluß des Plasmas, der sogenannten Debris, ausgesetzt. Unter Debris versteht man schnelle Partikel, die aus dem Plasma entweichen, sowie verdampftes oder abgesputtertes Material aus der Umgebung des Plasmas. Durch diesen Einfluß wird die Lebensdauer der benötigten Optiken begrenzt. Um eine hinreichende Lebensdauer der Optiken zu gewährleisten müssen geeignete Maßnahmen ergriffen werden.

Letzteres kann prinzipiell auf zwei verschiedene Weisen geschehen.

Zum einen kann die Plasma-Strahlungsquelle derart aufgebaut sein, dass sie möglichst wenig Debris erzeugt. Das kann beispielsweise durch die Art der Plasmaanregung (Gasentladung, Partikelbeschuss Laseranregung), durch das Design der Plasmaumgebung sowie die Wahl der stofflichen Zusammensetzung des Plasmas beeinflußt werden. Derartige Maßnahmen erzeugen zusätzliche Randbedingungen, die einer Optimierung der Konversionseffizienz häufig entgegenstehen. So werden in Plasma-Strahlungsquellen für die EUV Lithographie häufig Xenonplasmen erzeugt, da Xenon als Edelgas keinen chemischen Änderungen unterliegt und nicht auf Oberflächen abgeschieden wird. Xenon ist jedoch aus Sicht der Konversionseffizienz im für die EUV Lithographie geforderten Wellenlängenbereich suboptimal.

Zinn und Lithium wären günstiger, finden jedoch aufgrund ihres niedrigen Schmelzpunktes und der damit verbundenen hohen Debrislast bisher kaum Verwendung.

5 Zum andere können aktiv Maßnahmen ergriffen werden, um die Optiken vor dem schädlichen Einfluß von Debris so gut wie möglich zu schützen.

10 Bisher bekannte aktive Maßnahmen, um Debris zu unterdrücken, betreffen die Ablenkung durch elektrische und/oder magnetische Felder (z. B. US 5 991 360), die Adsorption auf Oberflächen in Form einer rotierenden Folienstruktur oder von Foil Traps sowie mechanische Shutter.

15 20 Während letztere bei Kurzzeit gepulsten Plasma-Strahlungsquellen nur auf sehr geringe Öffnungsflächen beschränkt sind, da sich sonst schnelle Verschlusszeiten nicht mehr realisieren lassen, wirken elektrische und/oder magnetische Felder nicht auf ungeladene oder quasineutrale Teilchenensembles.

25 Bei rotierenden Folienstrukturen bestehen aufgrund der zum Abfang sehr schneller Teilchen notwendigen hohen Umlaufgeschwindigkeiten in der Größenordnung von 1000 m / s Probleme bezüglich vakuumtauglicher Lager, mechanischer Stabilität gegen die auftretenden Fliehkräfte und eine hochgenaue Auswuchtung.

30 Die Foil Traps bestehen aus (Metall-)Folien, deren Zwischenräume mit einem Gasstrom beaufschlagt werden und die zur Vermeidung eines Leistungsverlustes exakt längs zur Strahlrichtung angeordnet sein müssen. Bedingt durch Justage- und Fertigungstoleranzen sowie durch thermische

Beanspruchung lässt sich diese Forderung in der Praxis oft nicht in der ausreichenden Präzision erreichen. Zum anderen wird eine hinreichende Debris-Unterdrückung nur bei hohen Gasströmen erreicht, welches zu Problemen im 5 Vakuumsystem sowie Strahlungsleistungsverlust durch Gasabsorption führt.

Ähnliche Probleme können auch bei einer Vorrichtung zur Röntgenbestrahlung gemäß der EP 0 174 877 B1 auftreten, 10 die als Partikelschutz für eine Maske eine flache fließende Gasschicht vor einem Austrittsfenster einer evakuierten Kammer vorsieht.

Ausgehend hiervon ist es Aufgabe der Erfindung, die 15 eingangs genannten Plasma-Strahlungsquellen so zu verbessern, dass die durch den Einfluss von Debris begrenzte Lebensdauer der Optiken deutlich erhöht wird. Die zu treffenden Maßnahmen sollen der Ausbreitung von Debris entgegenwirken und so den Einsatz von 20 Quellkonzepten mit optimaler Konversionseffizienz, deren Nutzung sich bisher aus Gründen der Optiklebensdauer verbot, ermöglichen.

Diese Aufgabe wird bei einer Plasma-Strahlungsquelle der 25 eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass ein radial gerichteter Überschall-Gasstrahl von einer auf der Achse der mittleren Ausbreitungsrichtung der Strahlung angeordneten Treibdüse einer Gasstrahl-Vakuumpumpe ausgeht, auf eine zu der Achse koaxial angeordnete 30 ringförmige Mischdüse der Gasstrahl-Vakuumpumpe gerichtet ist und über einen Diffuser aus der Vakuumkammer herausgeführt ist.

Obwohl die Anordnung allein eine hinreichende Debris-Unterdrückung erreichen sollte, lässt sie sich mit anderen Methoden zur Debris-Unterdrückung kombinieren.

5 Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen enthalten.

Die erfindungsgemäße Plasma-Strahlungsquelle kann besonders vorteilhaft dadurch weitergebildet werden, dass 10 zur Plasmaanregung eine Gasentladung dient, für die eine Elektrodenanordnung mit entlang der Achse der mittleren Ausbreitungsrichtung der Strahlung nebeneinander angeordneter Anode und Kathode vorgesehen ist.

15 Besonders vorteilhaft sind die Elektroden als Flüssigmetallelektrode ausgebildet, die einen, von einem Zuführkanal für einen flüssigen Emitter durchzogenen Träger aufweist, der an seinem dem Plasma zugewandten Ende mit einem hochschmelzenden, porösen Material beschichtet 20 ist, in das der Zuführkanal mündet.

Die in der Plasma-Strahlungsquelle zum Einsatz kommende Einrichtung zur Debris-Unterdrückung arbeitet in einer Weise effektiv, so dass auch „schmutzige“ Konzepte für 25 Plasma-Strahlungsquellen mit hoher Konversionseffizienz Verwendung finden können. Beispielsweise könnten für die EUV Lithographie Zinn- oder Lithiumplasmen nutzbar werden.

30 Vorteilhaft ist es auch, wenn ein durch den Stromfluss entlang der Achse erzeugter Pinch-Effekt zusätzlich durch ein um das Plasma gelegtes externes statisches oder dynamisches Magnetfeld unterstützt ist.

Der Einsatz der erfindungsgemäßen Einrichtung zur Debris-Unterdrückung beschränkt sich selbstverständlich nicht auf Entladungsplasmen, so dass das Plasma auch laserinduziert beziehungsweise durch Teilchenbeschuss erzeugt sein kann.

5

Eine besonders effektive Ausnutzung der vom Plasma emittierten Strahlung wird erreicht, wenn dem Quellbereich entlang der Achse der mittleren Ausbreitungsrichtung der Strahlung ein Reflektor benachbart ist, mit dem eine Refokussierung der Strahlung durch das Plasma erfolgt. Auf diese Weise kann der nutzbare Raumwinkel verdoppelt werden. Die dadurch erreichbare Steigerung der nutzbaren Strahlleistung wird durch die Reflektivität des Reflektors sowie durch Absorptionsverluste begrenzt. Auch für diesen Reflektor kann die erfindungsgemäße Einrichtung zur Debris-Unterdrückung als Schutz dienen, indem der Gasvorhang dem Quellbereich entlang der Achse der mittleren Ausbreitungsrichtung der Strahlung beidseitig benachbart ist.

10

15

20

25

30

Die obenstehende Aufgabe wird ferner erfindungsgemäß durch die eingangs genannte Anordnung zur Erzeugung eines Gasvorhangs dadurch gelöst, dass zur Erzeugung eines Überschall-Gasstrahls für den Gasvorhang eine Gasstrahl-Vakuumpumpe mit einer auf der Achse angeordneten Treibdüse dient, die den Überschall-Gasstrahl radial auf eine zu der Achse koaxial angeordnete ringförmige Mischdüse der Gasstrahl-Vakuumpumpe richtet, und dass zum Herausführen des Überschall-Gasstrahls aus der Vakuumkammer ein Diffusor vorgesehen ist.

Gegenstand der Erfindung ist auch die Gasstrahl-Vakuumpumpe selbst, mit einer ringförmigen Mischdüse,

deren Gaseintrittsöffnung zum Ringzentrum weist, einer in dem Ringzentrum angeordneten Treibdüse zur Erzeugung eines von der Treibdüse radial ausgehenden und auf die Gaseintrittsöffnung gerichteten Überschall-Gasstrahls und einem vom Ringzentrum weggerichtet arbeitenden ringförmigen Diffusor (10).

Die Erfindung soll nachstehend anhand der schematischen Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen:

10 Fig. 1 einen Ausschnitt aus einer Plasma-Strahlungsquelle mit einer ersten Ausführung einer erfindungsgemäßen Einrichtung zur Debris-Unterdrückung

15 Fig. 2 eine als Entladungsplasma ausgebildete Plasma-Strahlungsquelle

20 Fig. 3 die Plasma-Strahlungsquelle gemäß Fig. 2 mit einem zusätzlich vorgesehenen Magneten

Fig. 4 eine Plasma-Strahlungsquelle zur Nutzung der in entgegengesetzte Richtungen abgestrahlten Strahlung

25 Fig. 5 einen Schnitt durch eine Flüssigmetall-Elektrode

Bei der in Fig. 1 dargestellten Plasma-Strahlungsquelle ist in einer Vakuumkammer 1 eine als Treibdüse 2 einer Gasstrahl-Vakuumpumpe 3 dienende Lavaldüse auf der Achse X-X der mittleren Ausbreitungsrichtung einer von einem Plasma 4 erzeugten Strahlung 5 montiert.

Die Treibdüse 2 wird über einen Versorgungskanal 6 mit einem inerten Gas unter einem Treibdruck  $P_T$  beaufschlagt und erzeugt einen kreisförmigen, radial nach außen auf die Kammerwand der Vakuumkammer 1 gerichteten Überschall-5 Gasstrahl 7. Der Überschall-Gasstrahl 7, der sowohl senkrecht als auch unter einem anderen Winkel zur Achse X-X verlaufen oder sich auch konisch ausbreiten kann, mündet in eine ringförmige Mischdüse 8, welche sich zu einem ringförmigen Hals 9 verjüngt und schließlich in den ringförmigen Diffusor 10 der Gasstrahl-Vakuumpumpe 3 übergeht. Der Diffusor 10 wird durch eine oder mehrere geeignete, als Vorpumpen arbeitende Vakuumpumpen auf einen Gegendruck  $P_G$  evakuiert. Die Gasstrahl-Vakuumpumpe 3 übernimmt zwei für die erfindungsgemäße Plasmä-15 Strahlungsquelle wesentliche Funktionen. Zum einen führt sie den Überschall-Gasstrahl 7 über den Diffusor 10 aus der Vakuumkammer 1 heraus und verhindert so, dass der Überschall-Gasstrahl 7 die Vakuumkammer flutet, zum anderen evakuiert sie diese zusätzlich (ganz oder 20 teilweise) auf einen Betriebsdruck  $P_0$ . Das Kompressionsverhältnis  $P_G / P_0$  der Gasstrahl-Vakuumpumpe 3 steigt mit wachsendem Expansionsverhältnis  $P_T / P_0$ , hängt aber auch stark vom Design der Pumpe ab. Günstig ist stets ein hoher Treibdruck  $P_T$  und ein geringer Gegendruck  $P_G$ . 25 Üblicherweise gilt ein Verhältnis zwischen den Drücken von  $P_T \gg P_G > P_0$ . Beispielsweise können Wälzkolbenpumpen als leistungsstarke Vorpumpen eingesetzt werden. Geeignete Druckbereiche bzw. Druckverhältnisse sind zum Beispiel:

30

$$P_G = 10^{-3} \text{ mbar} - 10 \text{ mbar},$$

$$P_T = 100 \text{ mbar} - 20 \text{ bar},$$

$$P_G / P_0 > 10 \Rightarrow P_0 < 10^{-4} \text{ mbar} - 1 \text{ mbar}$$

Die erfindungsgemäße Einrichtung zur Debris-Unterdrückung stellt eine Gasstrahl-Vakuumpumpe dar, die mit einer ringförmigen Mischdüse 8 ausgestattet, deren Gaseintrittsöffnung zum Ringzentrum weist, in dem eine Treibdüse zur Erzeugung eines von der Treibdüse radial ausgehenden und auf die Gaseintrittsöffnung gerichteten Überschall-Gasstrahls 7 angeordnet ist. Der ringförmig ausgebildete Diffusor 10 arbeitet vom Ringzentrum weggerichtet.

Der Überschall-Gasstrahl 7 bildet einen Gasvorhang, der die Vakuumkammer 1 in einen Anwendungsbereich A und in einen Quellbereich B trennt, so dass jedweder Austausch zwischen den Bereichen A und B durch den Gasvorhang hindurch erfolgen muss. Das gilt sowohl für die von dem Plasma 4 emittierte Strahlung 5, die den Gasvorhang ringförmig zwischen der Treibdüse 2 und Mischdüse 8 passiert, als auch für von der Quelle emittierte Debris. Anders als Strahlung wird Debris jedoch von den Teilchen des Gasvorhangs gebremst und ist dem vom Überschall-Gasstrahl 7 ausgehenden Impulsübertrag ausgesetzt, welcher die Debristeilchen in die Mischdüse 8 treibt. Ist die Teilchenzahl pro Flächeneinheit und der Impulsübertrag längs des Weges durch den Gasvorhang auf die Debristeilchen hinreichend groß, so wird es für diese unmöglich in den Anwendungsbereich A zu gelangen. Der Impulsübertrag auf die Debristeilchen lässt sich bei konstanter Weglänge durch den Gasvorhang steigern, indem dessen Teilchenzahldichte (Druck im Überschall-Gasstrahl 7) und Geschwindigkeit in Richtung Mischdüse 8 erhöht wird. Ersteres lässt sich durch Erhöhung des Treibdruckes  $P_T$  erreichen, was für die oben beschriebene Funktion der Gasstrahl-Vakuumpumpe 3 ebenfalls günstig ist. Die Teilchengeschwindigkeit lässt sich durch

Temperaturerhöhung des Treibgases vor der Treibdüse 2 erhöhen.

5 Als Treibmittel für den Überschall-Gasstrahl 7 wird ein Inertgas mit geringem Absorptionskoeffizienten bei der interessierenden Wellenlänge der Strahlung 5 verwendet, um die Absorption der vom Plasma 4 emittierten Strahlung 5 gering zu halten.

10 Die Absorption der Strahlung 5 sowie die Unterdrückung von Debris durch den Gasvorhang sind allerdings nicht homogen. Beides nimmt quadratisch mit dem Abstand zur Achse X-X ab, da sich die Teilchenzahldichte in dieser Richtung aufgrund der wachsenden abzudeckenden Fläche bei konstanter Teilchengeschwindigkeit verringert. Folglich werden die Bedingungen in der Einrichtung so eingestellt sein, dass auch in den äußeren Bereichen des Gasvorhangs eine ausreichende Teilchenzahldichte zur hinreichenden Debris-Unterdrückung gegeben ist.

15 20 Ein wesentliches Kriterium einer Einrichtung zur Debris-Unterdrückung ist die Größe des erschließbaren Raumwinkels um das Plasma 4. Dieser sollte so groß wie möglich sein, um hohe Strahlungsleistungen des Plasmas 4 im Anwendungsbereich A nutzen zu können. In der beschriebenen Anordnung ist dieser durch die Fläche zwischen Treib- und Mischdüse 2, 10 und den Abstand zum Plasma 4 gegeben. Diese Fläche kann nicht beliebig vergrößert werden, da der Abstand von Treib- zu Mischdüse 2 bzw. 10 zur 25 Aufrechterhaltung der Funktion der Gasstrahl-Vakuumpumpe 3 sowie der hinreichenden Debris-Unterdrückung begrenzt bleiben muss. Folglich ist es sinnvoll, den Abstand der Einrichtung zum Plasma 4 zu minimieren. Dabei ist zu 30 berücksichtigen, dass die Fläche der Treibdüse 2 mit

abnehmendem Abstand zum Plasma 4 einen immer größeren Raumwinkel der Strahlung 5 abschattet. Je nach Größe der Fläche zwischen Treib- und Mischdüse 2, 10 und der Fläche der Treibdüse 2 ergibt sich ein optimaler Abstand der Einrichtung zur Erschließung des maximalen Raumwinkels. Der dabei gegebenenfalls auftretende kurze Abstand zwischen dem Plasma 4 und Treibdüse 2 ist relativ unkritisch, da die Treibdüse 2 durch die in ihr ablaufende (adiabatische) Expansion sehr effektiv gekühlt wird. Vorteilhaft kann diese Kühlung für Komponenten (z. B. Elektroden) der Plasma-Strahlungsquelle genutzt werden. Eine dabei auftretende Erhitzung des Treibgases ist aus den bereits genannten Gründen einer Erhöhung der Teilchengeschwindigkeit im Überschall-Gasstrahl 7 sogar wünschenswert.

Mit der erfindungsgemäßen Einrichtung kann Debris bei gleichzeitig geringem Nutzlichtverlust hocheffektiv unterdrückt werden, so dass auch besonders „schmutzige“, aber effiziente Konzepte für Plasma-Strahlungsquellen praktikabel werden. Das gilt für laserinduzierte Plasmen, durch Teilchenbeschuß erzeugte Plasmen und für Entladungsplasmen.

Bei der in Fig. 2 dargestellten Ausbildung einer Entladungs-Plasma-Strahlungsquelle sind Anode 11 und Kathode 12, anders als beispielsweise bei den bisher üblichen Entladungs-Plasma-Strahlungsquellen zur Erzeugung von EUV-Strahlung, längs der Achse X-X der mittleren Ausbreitungsrichtung der Strahlung nebeneinander angeordnet. Eine derartige Anordnung besitzt einige günstige Eigenschaften, insbesondere verursacht sie nur eine geringe Einschränkung des nutzbaren Raumwinkels, da ein Kegel von einigen Grad um die Achse X-X von den hier

nicht dargestellten Kollektortoptiken ohnehin nicht genutzt werden kann. Der Rest des Raumwinkels um das Plasma 4 ist frei und kann im Prinzip genutzt werden. Außerdem unterstützt diese Anordnung durch ihre Symmetrie die 5 Ausbildung des Pinch-Effektes, welcher zur Erzeugung von Plasmen hoher Temperatur und Dichte notwendig ist. Dieser komprimiert das unter elektrischem Stromfluss stehende Plasma 4 durch das bei hohen elektrischen Stromdichten selbst induzierte Magnetfeld. Die Versorgung des Plasmas 4 10 mit elektrischer Leistung kann mittels Wechselströmen, Gleichströmen oder gepulsten Gleichströmen erfolgen. Wichtig ist nur, dass die zur Ausbildung des Pinch-Effektes notwendigen Stromdichten zumindest kurzzeitig erreicht werden.

15 Durch die Verwendung der in Fig. 1 dargestellten Einrichtung zur Debris-Unterdrückung werden, ohne es als Einschränkung zu verstehen, derartige Entladungsplasmen nunmehr für Strahlungsquellen praktikabel, obwohl der 20 durch hohe Stromdichten auf den Elektrodenoberflächen erzeugte Elektrodenabbrand zu einer starken Debris-Emission führt.

25 Der Pinch-Effekt kann zusätzlich durch ein externes Magnetfeld unterstützt sein, welches die Kompression des Plasmas 4 weiter erhöht, indem bei gegebener Stromstärke die Stromdichte zunimmt. Dieses Magnetfeld kann statisch oder an den jeweiligen Stromfluss durch das Plasma 4 angepasst sein. Vorteilhaft kann dazu eine Anordnung gemäß 30 Fig. 3 sein, bei der um das Plasma 4 zusätzlich ein Magnet 13 angebracht ist. Die ringförmige Struktur verringert den nutzbaren Raumwinkel der Plasma-Strahlungsquelle nur geringfügig und lässt sich in die beschriebene Elektrodenanordnung gemäß Fig. 2 leicht integrieren.

Aufgrund einer bei der Entladungs-Anordnung gemäß Fig. 2 vorhandenen Spiegelsymmetrie bezüglich einer senkrecht zur Achse X-X verlaufenden Ebene E-E, können die Strahlungsemissionen des Plasmas 4 auf beiden Seiten der Ebene E-E genutzt werden, wenn durch einen sphärischen Spiegel 14 als Reflektor eine Refokussierung der Strahlung durch das Plasma 4 erfolgt. Eine entsprechende Anordnung, bei der die Strahlwege beider Seiten in einem Strahlweg vereint werden, ist in Fig. 4 dargestellt.

Ohne zusätzlichen Schutz ist der sphärische Spiegel 14 wie die nicht dargestellten optischen Komponenten auf der gegenüberliegenden Seite des Plasmas 4 der Debris-Emission ausgesetzt. Deshalb wird gemäß Fig. 4 auch für den Spiegel 14 die in Fig. 1 beschriebene Einrichtung zur Debris-Unterdrückung verwendet.

Die Zufuhr eines geeigneten Emitters in das Plasma 4 kann auf vielfältige Weise erfolgen, wie z. B. extern als Gas oder Flüssigkeit beziehungsweise gelöst, suspendiert oder zerstäubt in einem Gas oder einer Flüssigkeit. Besonders einfach ist es, die Elektroden ganz oder teilweise aus dem Emitterelement oder mehreren Emitterelementen auszubilden, so dass durch den Elektrodenabbrand der Emitter in das Plasma 4 geleitet wird. Gegebenenfalls ist es hier zur Aufrechterhaltung der Entladungsgeometrie notwendig, die Elektroden nachzufahren, um den Abbrand auszugleichen.

Das wird bei einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Elektrode als Flüssigmetallelektrode mit beliebig auszubildender Form nicht mehr der Fall sein. Eine solche Elektrode, bei der auch der Abbrand minimiert ist, zeigt Fig. 5.

Wird eine Flüssigkeit mit einem porösen Material in Kontakt gebracht, dessen Porosität auf die Oberflächenspannung der Flüssigkeit abgestimmt ist, so verteilt sich die Flüssigkeit gleichmäßig in dem porösen Material, bis es dessen Oberfläche erreicht. Ist der Druck der Flüssigkeit größer als an der Oberfläche des porösen Materials, so wird die Flüssigkeit, abgesehen von Gravitationseffekten, gleichmäßig aus der Oberfläche gedrückt.

Bei der in Fig. 5 dargestellten Elektrode 15 ist ein Träger 16, von einem Zuführkanal 17 zur Versorgung der Elektrode 15 mit einem flüssigen Emitter 18, wie z. B. Zinn oder Lithium durchzogen. An seinem dem Plasma 4 zugewandten Ende ist der Träger 16 mit einem hochschmelzenden, porösen Material 19 beschichtet, in das der Zuführkanal 17 mündet, so dass der Flüssigmetallemitter 18 aus dem porösen Material 19 austreten und dessen Oberfläche vollständig überziehen kann. Eine plasmaseitig sphärische Form SF des porösen Materials 19 soll zu einer gleichmäßigen Stromdichte auf der Elektroden-Oberfläche führen und damit eine lokale Überhitzung im Betrieb verhindern. Das poröse Material 19 ist auf dem plasmaabgewandten Teil der Elektrode 15 ein zusätzliches Stück auf dem Träger 16 aufgebracht, um die Gesamtoberfläche der Elektrode 15 zu vergrößern und eine bessere mechanische Stabilität auf dem Träger 16 zu gewährleisten.

Wesentlich für die Funktion der Elektrode 15 ist eine Betriebstemperatur oberhalb des Schmelzpunktes des metallischen Emitters 18, um dessen Erstarrung zu verhindern. Solange, bis das heiße Plasma 4 die Elektrode 15 auf dieser Temperatur hält, kann zu Betriebsbeginn eine

zusätzliche externe Heizung zugeschaltet sein oder das Einschaltregime ist derart gestaltet, dass das Plasma 4 die Elektrode 15 auf die Betriebstemperatur bringt.

5 Da sich die Elektroden einer Plasma-Strahlungsquelle im Vakuum befinden, ist es leicht möglich, die Dicke des Metallfilms auf der Oberfläche des porösen Materials 19 durch einen leichten Überdruck zu erhöhen. Gegebenenfalls ist es so auch möglich, auf die Anpassung der Porosität an 10 die Oberflächenspannung des flüssigen Metalls zu verzichten.

Der vorgeschlagene Aufbau der Elektrode 15 hat ferner den Vorteil einer langen Lebensdauer, da das poröse Material 15 effektiv gekühlt und dessen Abbrand unterdrückt wird, weil beim Betrieb auf der Oberfläche des porösen Materials 19 ständig flüssiges Metall verdampft. Das gleiche gilt für die gesamte Elektrode 15.

20 Elektrische Leitfähigkeit ist sowohl für den Träger 16 als auch für das poröse Material 19 möglich aber nicht erforderlich, da die Stromzufuhr über den Zuführkanal 17 erfolgen kann.

25 In einer weiteren Ausführungsform können der Träger 16 und das poröse Material 19 chemisch identisch sein, wodurch mechanische Spannungen an der Grenze zwischen beiden Materialien bei Temperaturänderungen verhindert werden können.

30 Die Kondensation von verdampftem Emittermaterial auf den Oberflächen der Vakuumkammer kann durch die erfindungsgemäße Einrichtung zur Debris-Unterdrückung verhindert werden, indem das verdampfte Emittermaterial

durch die Gasstrahl-Vakuumpumpe 3 entfernt wird. Dieser Prozess kann durch entsprechend hohe Oberflächentemperaturen im Quellbereich B kontinuierlich im Betrieb erfolgen, wobei das sich im Vorvakuumsystem 5 niedergeschlagene Emittermaterial relativ leicht entfernen lässt.



1 Patentansprüche

1. Plasma-Strahlungsquelle, die von einem Quellbereich in einer Vakuumkammer ausgehende Strahlung in einen definierten Raumwinkel durch einen zur Debris-5 Unterdrückung vorgesehenen Gasvorhang hindurch entlang einer Achse der mittleren Ausbreitungsrichtung der Strahlung abstrahlt, dadurch gekennzeichnet, dass der Gasvorhang als radial gerichteter Überschall-Gasstrahl 10 (7) von einer auf der Achse (X-X) der mittleren Ausbreitungsrichtung der Strahlung (5) angeordneten Treibdüse (2) einer Gasstrahl-Vakuumpumpe (3) ausgeht, auf eine zu der Achse (X-X) koaxial angeordnete 15 ringförmige Mischdüse (8) der Gasstrahl-Vakuumpumpe (3) gerichtet ist und über einen Diffuser (10) aus der Vakuumkammer (1) herausgeführt ist.
2. Plasma-Strahlungsquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Plasmaanregung eine Entladung 20 dient, für die eine Elektrodenanordnung mit entlang der Achse (X-X) der mittleren Ausbreitungsrichtung der Strahlung (5) nebeneinander angeordneter Anode (11) und Kathode (12) vorgesehen ist.
- 25 3. Plasma-Strahlungsquelle nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass als Elektroden Flüssigmetallelektronen verwendet werden.
4. Plasma-Strahlungsquelle nach Anspruch 3, dadurch 30 gekennzeichnet, dass die Flüssigmetallelektrode einen, von einem Zuführkanal (17) für einen flüssigen Emittor (18) durchzogenen Träger (16) aufweist, der an seinem dem Plasma (4) zugewandten Ende mit einem hochschmelzenden, porösen Material (19) beschichtet 35 ist, in das der Zuführkanal (17) mündet.

5. Plasma-Strahlungsquelle nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigmetallelektrode mit einer Heizung ausgestattet ist.
- 5 6. Plasma-Strahlungsquelle nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Träger (16) und das poröse Material (19) elektrisch leitfähig sind.
- 10 7. Plasma-Strahlungsquelle nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Träger (16) und das poröse Material (19) nicht elektrisch leitfähig sind.
- 15 8. Plasma-Strahlungsquelle nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Träger (16) und das poröse Material (19) chemisch identisch sind.
9. Plasma-Strahlungsquelle nach einem der Ansprüche 2 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass ein durch den Stromfluss entlang der Achse (X-X) erzeugter Pinch-20 Effekt zusätzlich durch ein um das Plasma (4) gelegtes externes Magnetfeld unterstützt ist.
- 25 10. Plasma-Strahlungsquelle nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das externe Magnetfeld als statisches Magnetfeld ausgebildet ist.
11. Plasma-Strahlungsquelle nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das externe Magnetfeld dem Stromfluss durch das Plasma (4) angepasst ist.
- 30 12. Plasma-Strahlungsquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Plasmaanregung Laserstrahlung dient.

13. Plasma-Strahlungsquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass einem Quellbereich (B) für das Plasma (4) entlang der Achse (X-X) der mittleren Ausbreitungsrichtung der Strahlung (5) ein Reflektor benachbart ist, mit dem eine Refokussierung der Strahlung (5) durch das Plasma (4) erfolgt.

14. Plasma-Strahlungsquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Gasvorhang dem Quellbereich (B) entlang der Achse (X-X) der mittleren Ausbreitungsrichtung der Strahlung (5) ausschließlich auf der Seite eines Anwendungsbereiches (A) benachbart ist.

15. 15. Plasma-Strahlungsquelle nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Gasvorhang dem Quellbereich (B) entlang der Achse (X-X) der mittleren Ausbreitungsrichtung der Strahlung (5) beidseitig benachbart ist.

16. Anordnung zur Erzeugung eines Gasvorhangs als Filter für Teilchen in einer Strahlung, deren mittlere Ausbreitungsrichtung in einer Vakuumkammer entlang einer durch den Gasvorhang gerichteten Achse verläuft, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung eines Überschall-Gasstrahls (7) für den Gasvorhang eine Gasstrahl-Vakuumpumpe (3) mit einer auf der Achse (X-X) angeordneten Treibdüse (2) dient, die den Überschall-Gasstrahl (7) radial auf eine zu der Achse (X-X) koaxial angeordnete ringförmige Mischdüse (8) der Gasstrahl-Vakuumpumpe (3) richtet, und dass zum Herausführen des Überschall-Gasstrahls (7) aus der Vakuumkammer (1) ein Diffuser (10) vorgesehen ist.

24  
17. Gasstrahl-Vakuumpumpe mit einer ringförmigen Mischdüse (8), deren Gaseintrittsöffnung zum Ringzentrum weist, einer in dem Ringzentrum angeordneten Treibdüse (2) zur Erzeugung eines von der Treibdüse (2) radial ausgehenden und auf die Gaseintrittsöffnung gerichteten Überschall-Gasstrahls (7) und einem vom Ringzentrum weggerichtet arbeitenden ringförmigen Diffusor (10).  
5

## Zusammenfassung

Eine Plasma-Strahlungsquelle soll so verbessert werden, dass die durch den Einfluss von Debris begrenzte Lebensdauer der Optiken deutlich erhöht wird. Die zu treffenden Maßnahmen sollen der Ausbreitung von Debris entgegenwirken und so den Einsatz von Quellkonzepten mit optimaler Konversionseffizienz, deren Nutzung sich bisher aus Gründen der Optiklebensdauer verbot, ermöglichen.

Ein Gasvorhang, durch den die von einem Quellbereich in einer Vakuumkammer (1) ausgehende Strahlung (5) in einen definierten Raumwinkel zur Debris-Unterdrückung hindurch entlang einer Achse (X-X) der mittleren Ausbreitungsrichtung der Strahlung (5) abgestrahlt wird, geht als radial gerichteter Überschall-Gasstrahl (7) von einer auf der Achse (X-X) angeordneten Treibdüse (2) einer Gasstrahl-Vakuumpumpe (3) aus, ist auf eine zu der Achse (X-X) koaxial angeordnete ringförmige Mischdüse (8) der Gasstrahl-Vakuumpumpe (3) gerichtet und über einen Diffuser (10) aus der Vakuumkammer (1) herausgeführt.

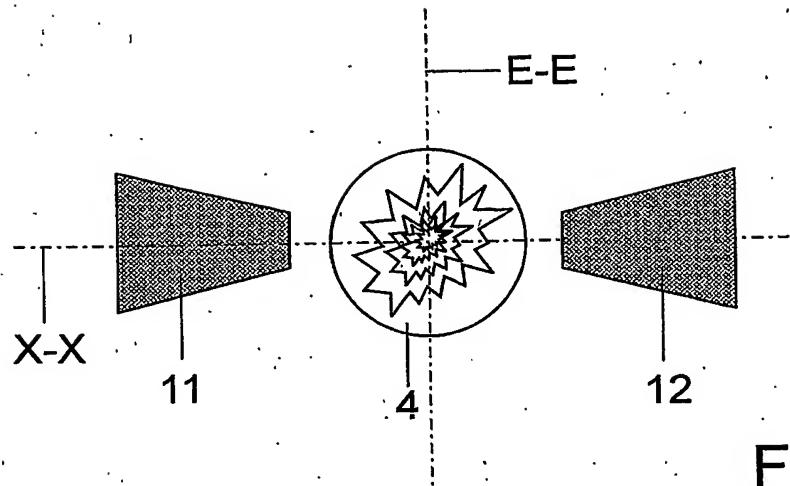


Fig. 2

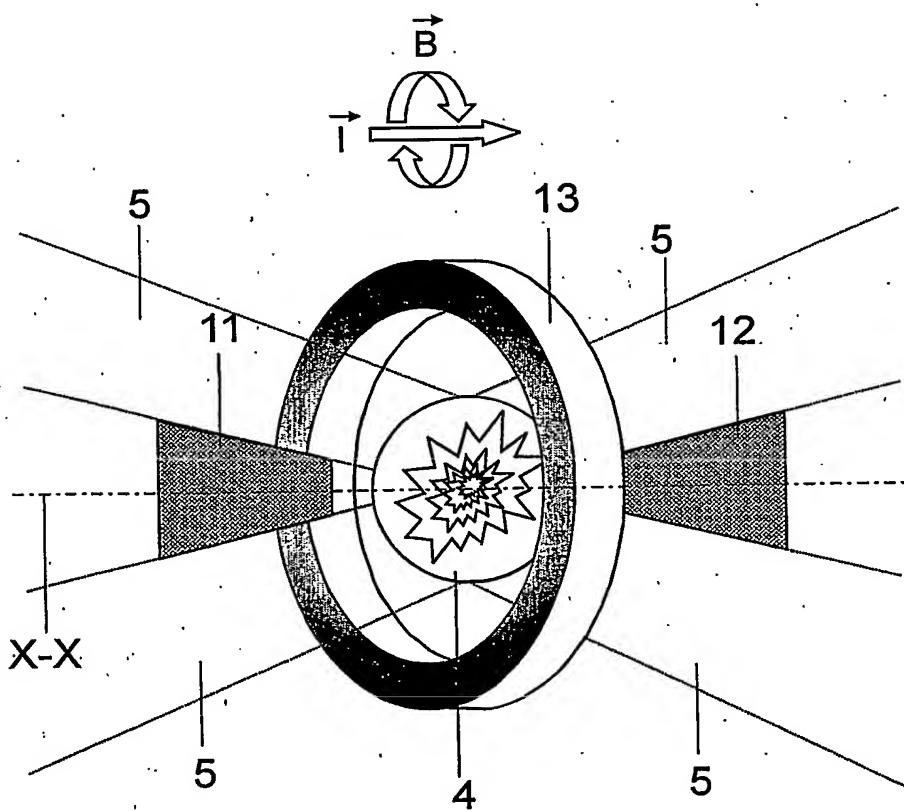


Fig. 3

## **zur Vorvakuumpumpe**

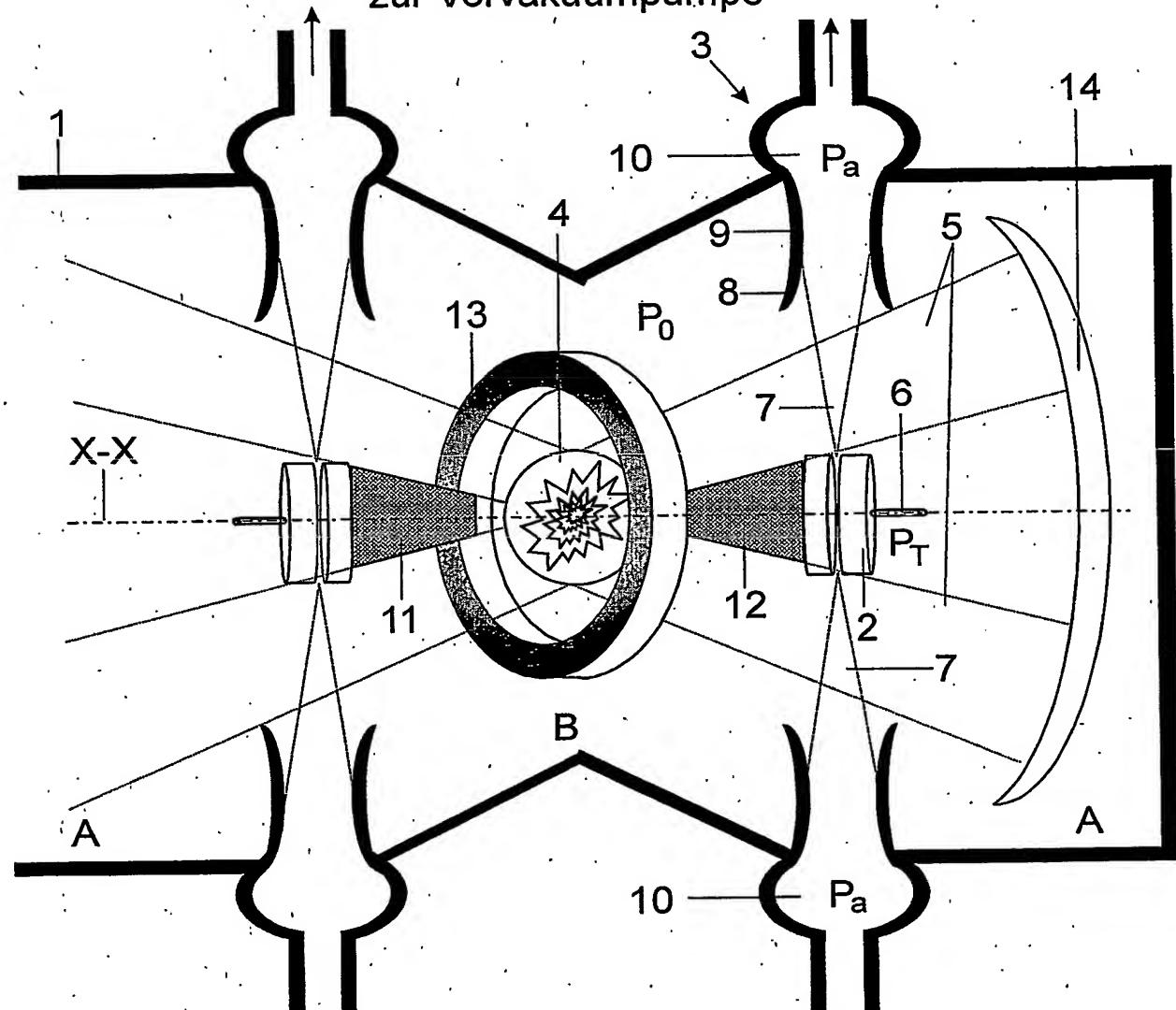


Fig. 4

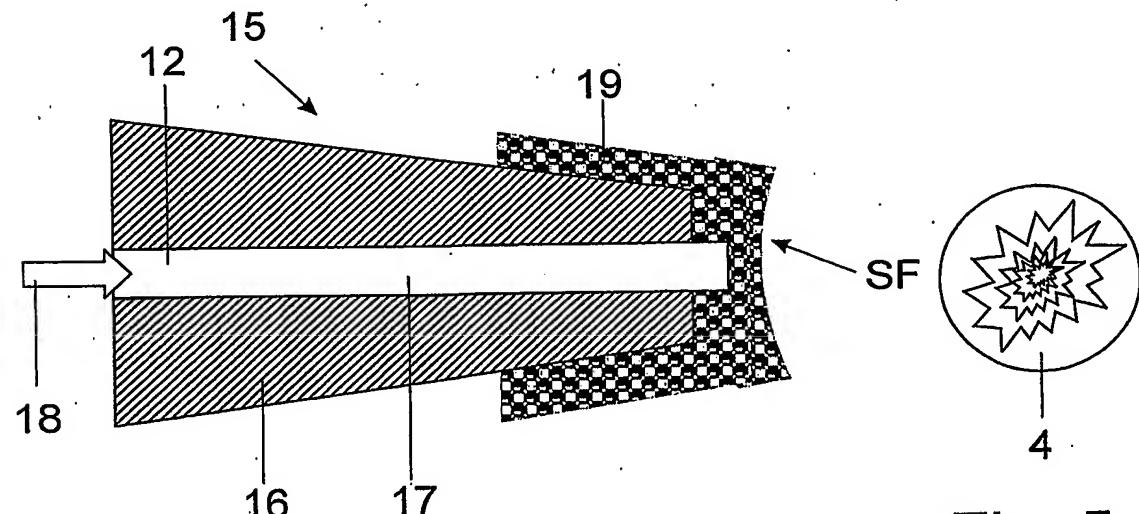


Fig. 5